

## Ringfield four mirror system with convex primary mirror for EUV lithography

Publication number: EP0962830 (A1)

Publication date: 1999-12-08

Inventor(s): DINGER UDO DR [DE]

Applicant(s): ZEISS CARL [DE]; ZEISS STIFTUNG [DE]

Classification:

- international: H01L21/027; G02B17/06; G03F7/20; H01L21/02; G02B17/00;  
G03F7/20; (IPC1-7): G03F7/20; G02B17/06

- European: G03F7/20T16; G02B17/06C3

Application number: EP19990110265 19990527

Priority number(s): DE19981024442 19980530

### Also published as:

DE19923609 (A1)

US6244717 (B1)

TW512238 (B)

JP2000031041 (A)

### Cited documents:

US5063586 (A)

EP0422853 (A2)

US5153898 (A)

US5315629 (A)

EP0460617 (A2)

[more >>](#)

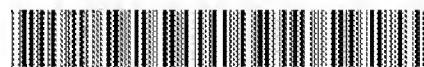
### Abstract of EP 0962830 (A1)

In a reduction objective, especially for EUV microlithography has 4 multilayer mirrors (M1, M2, M3, M4) in a centered array with respect to an optical axis, with primary, secondary, tertiary and quaternary mirrors in this sequence in the path of the rays, a ring field suitable for scanning operation and light guidance free from obscuration. The novelty is that it has a convex primary mirror (M1) and a secondary mirror (M2) giving positive angular enlargement of the principal ray.

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database — Worldwide



(19) Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 0 962 830 A1

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
08.12.1999 Patentblatt 1999/49

(51) Int. Cl<sup>6</sup>: G03F 7/20, G02B 17/06

(21) Anmeldenummer: 99110265.8

(22) Anmelddatum: 27.05.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 30.05.1998 DE 19824442

(71) Anmelder:  
• Carl Zeiss  
89518 Heidenheim (Brenz) (DE)  
Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE

• CARL-ZEISS-STIFTUNG, trading as CARL ZEISS  
89518 Heidenheim (DE)  
Benannte Vertragsstaaten:  
GB IE

(72) Erfinder: Dinger, Udo Dr.  
73447 Oberkochen (DE)

(74) Vertreter: Dr. Weitzel & Partner  
Friedenstrasse 10  
89522 Heidenheim (DE)

(54) Ringfeld-4-Spiegelsysteme mit konvexem Primärspiegel für die EUV-Lithographie

(57) Die Erfindung betrifft ein Reduktionsobjektiv insbesondere der EUV-Mikrolithographie, mit

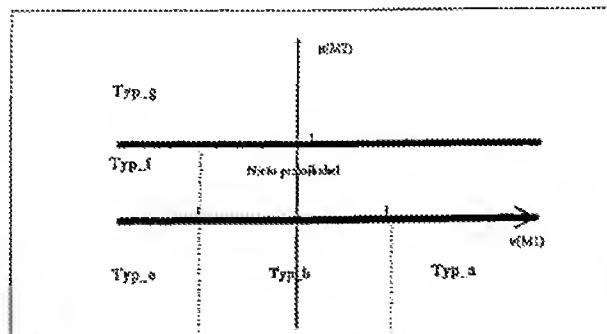
- vier Multilayer-Spiegeln in zentrierter Anordnung bezüglich einer optischen Achse, mit Primär-, Sekundär-, Tertiär-, Quartärspiegel in dieser Reihenfolge im Strahlengang
- Ringfeld geeignet für Scanning-Betrieb,

- obskurationsfreier Lichtführung.

Die Erfindung ist gekennzeichnet durch

- einen konvexen Primärspiegel.
- positive Hauptstrahlwinkelvergrößerung des Sekundärspiegels.

Fig. 1



EP 0 962 830 A1

**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Reduktionsobjektiv gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, eine Belichtungsanlage gemäß Ansprüche 11 und 12 sowie ein Chipherstellungsverfahren gemäß Anspruch 13.

5 [0002] Die Lithographie mit Wellenlängen < 193 nm, insbesondere die EUV-Lithographie mit  $\lambda = 11 \text{ nm}$  bzw.  $\lambda = 13 \text{ nm}$  werden als mögliche Techniken zur Abbildungen von Strukturen < 130 nm, besonders bevorzugt < 100 nm diskutiert. Die Auflösung eines lithographischen Systems wird durch nachfolgende Gleichung beschrieben:

$$10 \quad \text{RES} = k_1 \cdot \frac{\lambda}{NA}$$

wobei  $k_1$  ein spezifischer Parameter des Lithographieprozesses,  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtes und NA die bildseitige, numerische Apertur des Systems bezeichnet.

15 [0003] Für abbildende Systeme im EUV-Bereich stehen als optische Komponenten im wesentlichen reflektive Systeme mit Multilayer-Schichten zur Verfügung. Als Multilayer-Schichtsysteme finden bei  $\lambda = 11 \text{ nm}$  bevorzugt Mo/Be-Systeme und bei  $\lambda = 13 \text{ nm}$  Mo/Si-Systeme Verwendung.

[0004] Legt man eine numerische Apertur von 0,10 zugrunde, so erfordert die Abbildung von 100 nm-Strukturen mit 13 nm-Strahlung einen Prozeß mit  $k_1 = 0,77$ . Mit  $k_1 = 0,64$  wird bei 11 nm-Strahlung die Abbildung von 70 nm-Strukturen möglich.

20 [0005] Da die Reflektivität der eingesetzten Multilayer-Schichten nur im Bereich von ungefähr 70 % liegt, ist es bei den Projektionsobjektiven für die EUV-Mikrolithographie von ganz entscheidender Bedeutung, zum Erreichen einer ausreichenden Lichtstärke mit möglichst wenig optischen Komponenten im EUV-Projektionsobjektiv auszukommen.

25 [0006] Besonders bevorzugt haben sich mit Blick auf eine hohe Lichtintensität und ausreichende Möglichkeiten zur Korrektur von Abbildungsfehlern bei  $NA = 0,10$  Systeme mit vier Spiegeln herausgestellt.

[0007] Weitere Anforderungen an ein EUV-Projektionssystem für die EUV-Lithographie betreffen Obskurationen, Bildfeld, Verzeichnung, bild- und objektseitige Telezentrie, den freien Arbeitsabstand sowie die Blende.

[0008] Obskurationen, z. B. Mittenabschattungen wie in Schwarzschildsystemen, sind nicht zulässig, da es sonst zu intolerablen Degradationen der Abbildungsgüte kommt.

30 [0009] Fordert man einen obskurationsfreien Strahlengang so resultiert bei zentrierten Systemen ein außeraxiales Bildfeld. Um Bildformate von  $26 \times 34 \text{ mm}^2$  bzw.  $28 \times 52 \text{ mm}^2$  bereitzustellen, ist es vorteilhaft die Systeme als Ringfield-scanner auszubilden. Die nutzbare Sekantenlänge des Scanschlitzes beträgt dann mindestens 26mm. Die Ringbreite sollte um eine homogene Beleuchtung bzw. Belichtungs-Kontrolle und 'Dose-Control' zu ermöglichen im Bereich 0,5 - 2 mm liegen.

35 [0010] Bei der Verzeichnung unterscheidet man zwischen statischer und dynamischer oder Scan-Verzeichnung. Die Scanverzeichnung ist die effektive, sich durch Integration der statischen Verzeichnung über den Scanweg ergebende Verzeichnung. Grenzen für die maßstabskorrigierte, statische Verzeichnung ergeben sich im wesentlichen aus den Spezifikationen für Kontrast und CD-Variation.

[0011] Es ist bildseitige Telezentrie erforderlich. Handelt es sich bei dem Projektionssystem um ein System mit einer 40 Reflektionsmaske, so ist ein telezentrischer Strahlengang objektseitig nicht möglich. Werden Transmissionsmasken, z. B. Stencilmasken, eingesetzt ist auch ein telezentrischer Strahlengang realisierbar.

[0012] Um saubere Bündelbegrenzungen zu ermöglichen ist es vorteilhaft, wenn die Blende physikalisch zugänglich ist.

[0013] Die bildseitige Telezentriforderung bedeutet, daß die Eintrittspupille des letzten Spiegels in oder nahe seines 45 Brennpunktes, zu liegen kommt. Um ein kompaktes Design bei zugänglicher Blende zu erhalten, bietet es sich an, den vorletzten Spiegel als bündelbegrenzendes Element dort zu platzieren.

[0014] Aus nachfolgenden Veröffentlichungen sind 4-Spiegel-Projektions- bzw. Reduktionsobjektive bekanntgeworden:

50 \* US 5 315 629

\* EP 0 480 617

\* US 5 063 586

\* EP 0 422 853

55 \* Donald W. Sweeney, Russ Hudyma, Henry N. Chapman, David Shafer, EUV optical Design for a 100 mm CD Imaging System, 23<sup>rd</sup> International Symposium of microlithography, SPIE, Santa Clara, California, February 22-27, 1998, SPIE Vol. 3331, p. 2ff.

[0015] In der US 5 315 629 wird ein 4-Spiegel-Projektionsobjektiv mit  $NA = 0,1, 4x, 31.25 \times 0.5 \text{ mm}^2$  beansprucht. Die

Spiegelfolge ist konkav, konvex, konkav, konkav.

[0016] Aus der EP 0 480 617 B1 sind zwei NA=0,1, 5x, 25x2mm<sup>2</sup>-Systeme bekanntgeworden. Die Spiegelfolge ist konkav, konvex, beliebig / konvex, konkav.

[0017] Die Systeme gemäß US 5 063 586 und EP 0 422 853 weisen ein rechteckiges Bildfeld, von beispielsweise mindestens 5x5mm<sup>2</sup>, auf. Die im allgemeinen dezentrierten Systeme sind mit sehr hohen Verzeichnungswerten im %-Bereich behaftet. Die Objektive könnten daher nur in Steppern mit Verzeichnungsvorhalt auf dem Retikel eingesetzt werden. Das hohe Niveau der Verzeichnung macht derartige Objektive allerdings bei den hier diskutierten Strukturbreiten (< 130 nm) unpraktikabel. Die Spiegelfolge ist konkav, konkav, konvex, konkav.

[0018] Aus der US 5 153 898 sind pauschal beliebige 3 bis 5-Multilayer-Spiegel-Systeme bekanntgeworden. Die offengelegten Realisierungen beschreiben allerdings durchweg 3-Spiegelsysteme mit Rechteckfeld und kleiner numerischer Apertur NA (NA<0,04). Die Systeme sind daher auf die Abbildung von Strukturen > =0,25µm beschränkt.

[0019] Betreffend den allgemeinen Stand der Technik wird des weiteren auf T. Jewell: "Optical system design issues in development of projection camera for EUV lithography", Proc.SPIE 2437 (1995) und die darin angegebenen Zitate verwiesen, deren Offenbarungsgehalt voluminöslich in die Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0020] Es hat sich bei den bekannten Systemen gemäß der EP 0 480 617 sowie US 5 315 629 und gemäß Sweeney a.a.O. als nachteilig erwiesen, daß der außeraxial genutzte Teil des Primärspiegels mechanisch mit den waferseitigen Sensoraufbauten einer Projektionsbelichtungsanlage in Konflikt gerät, wenn nicht sehr große freie mechanische Arbeitsabstände > 100 mm realisiert werden. Diese Konflikte treten bei Spiegelsegmenten, die "bildfeldnah" plaziert sind, erst bei wesentlich geringeren Abständen (<10 mm) auf.

[0021] Aufgabe der Erfindung ist es, somit eine für die Lithographie mit kurzen Wellenlängen, < 193 nm, vorzugsweise < 100 nm, geeignete Projektionsobjektiveinrichtung anzugeben, die die zuvor erwähnten Nachteile des Standes der Technik nicht aufweist, mit möglichst wenigen optischen Elementen auskommt und andererseits eine ausreichend große Apertur aufweist und die Telezentrische Anforderungen sowie sämtliche weitere Anforderungen an ein Projektionssystem für Wellenlängen < 193 nm erfüllen.

[0022] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine Projektionsobjektiv gelöst, das vier Spiegel umfaßt und durch einen konkaven Primärspiegel sowie eine positive Hauptstrahlwinkelvergrößerung des Sekundärspiegels gekennzeichnet ist.

[0023] Durch die Ausbildung als 4-Spiegel-System werden hohe Transmission bei Wellenlängen im EUV-Bereich erreicht, wenn man eine Reflektivität der Mehrfachschichtsysteme für diese Strahlung mit 70% zugrundelegt. Andererseits können Aperturen im Bereich NA>0,10 realisiert werden. Das 4-Spiegel-Objektiv gemäß der Erfindung zeichnet sich somit durch hohe Auflösung, niedrige Fertigungskosten und hohen Durchsatz aus.

[0024] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Blende auf oder nahe einem Spiegel liegt, insbesondere dem Tertiärspiegel. Die Blende ist dann physikalisch zugänglich, das Design kompakt und abschaltungsfrei. Vorteilhafterweise sind zusätzlich zu den vier Spiegeln ein oder zwei Spiegel in streifendem Einfall angeordnet, wobei der oder die zusätzlichen Spiegel bevorzugt von einer Planfläche abgeleitete asphärische Flächen aufweisen können.

[0025] Vorteilhafterweise ist mindestens ein Spiegel ein aktiver Spiegel. In einer Ausführungsform eines 4-Spiegel-Objektives sind der Sekundärspiegel und der Quartärspiegel konkav.

[0026] Vorteilhafterweise sind die Multilayer-Spiegel in der Reihenfolge konvex-konkav-konvex-konkav ausgebildet.

[0027] Die in dieser Schrift diskutierten Asphäritäten beziehen sich auf die Spitze-Spitze- bzw. peak to valley (PV)-Abweichung A der asphärischen Flächen gegenüber der im Nutzbereich bestpassenden Sphäre.

[0028] Diese werden in den Beispielen durch eine Sphäre approximiert, deren Mittelpunkt auf der Figurennachse des Spiegels liegt und die im Meridionalschnitt die Asphäre im oberen und unteren Endpunkt des Nutzbereiches schneidet.

[0029] Die Angaben zu den Einfallswinkeln beziehen sich jeweils auf den Winkel zwischen jeweiligen einfallendem Strahl und Flächennormale am Einfallsort. Angegeben ist jeweils der größte Winkel irgendeines Strahles, im allgemeinen eines bündelbegrenzenden Strahles, der an irgendeinem der Spiegel auftritt.

[0030] Besonders bevorzugt beträgt der waferseitige optische freie Arbeitsabstand 60 mm. Der retikelseitige freie Arbeitsabstand beträgt mindestens 100 mm.

[0031] Die zuvor beschriebenen Objektive können nicht nur für die EUV-Lithographie eingesetzt werden, sondern selbstverständlich auch bei anderen Wellenlängen, ohne daß von der Erfindung abgewichen wird. Praktisch wird das nur bei UV-Wellenlängen im Bereich um 193 nm bei Excimer-Lasern in Betracht kommen.

[0032] Um eine beugungsbegrenzte Abbildung zu erreichen, ist mit Vorteil vorgesehen, daß der Design-Anteil des rms-Wellenfrontanteils des Systems höchstens 0,07 λ , bevorzugt 0,03 λ beträgt.

[0033] Vorteilhafterweise sind in den Beispielen der Erfindung die Objektive stets bildseitig telezentrisch ausgebildet.

[0034] Bei Projektionssystemen, die mit einer Reflexionsmaske betrieben werden, ist ein telezentrischer Strahlenverlauf ohne Beleuchtung über einen stark transmissionsmindernden Strahlteiler, wie beispielsweise aus der JP-A-95/28 31 16 bekannt, objektseitig nicht möglich. Daher sind die Hauptstrahlwinkel am Retikel so gewählt, daß eine abschaltungsfreie Beleuchtung gewährleistet ist.

[0035] Bei Systemen mit Transmissionsmaske kann vorgesehen sein, daß das Projektionsobjektiv objektseitig telezentrisch ausgelegt ist.

[0036] Im gesamten sollte der Telezentrieh Fehler am Wafer 10 mrad nicht überschreiten, vorzugsweise liegt er bei 5 mrad, besonders bevorzugt bei 2 mrad. Dies stellt sicher, daß sich die Änderung des Abbildungsmaßstabes bzw. der Verzeichnung über den Tiefenschärfenbereich in tolerierbaren Grenzen hält.

[0037] Neben der erfundungsgemäßen Reduktions- bzw. Projektionsobjektiveinrichtung stellt die Erfindung auch eine Projektionsbelichtungsanlage, umfassend mindestens ein derartiges Objektiv, zur Verfügung. In einer ersten Ausführungsform weist die Projektionsbelichtungsanlage eine Reflektionsmaske auf, in einer alternativen Ausführungsform eine Transmissionsmaske.

[0038] Besonders bevorzugt ist es, wenn die Projektionsbelichtungsanlage eine Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung eines außeraxialen Ringfeldes umfaßt und das System als Ringfeldscanner ausgebildet ist. Mit Vorteil ist vorgesehen, daß die Sekantenlänge des Scan-Schlitzes mindestens 26 mm beträgt und die Ringbreite größer als 0,5 mm ist, so daß eine homogene Beleuchtung ermöglicht wird.

[0039] Mit dem erfundungsgemäßen Objektiv können des weiteren die asphärischen Abweichungen von der best-passenden Sphäre gering gehalten werden, so daß die Forderung nach Beugungsbegrenztheit und hoher Reflektivität der ML-Spiegel mit den hieraus folgenden extremen Genauigkeitsanforderungen an diese Oberflächen in allen Ortsfrequenzbereichen vom freien Durchmesser der Spiegel bis zu atomaren Dimensionen eingehalten werden können.

[0040] Da die Reflektivität der Spiegel im EUV-Bereich durch die Belegung der Substrate mit sog. DBRs (verteilte Bragg Reflektoren), auch als Multilayer bezeichnet, erreicht wird, bestehen diese bei  $\lambda=13\text{nm}$  und für Mo/Si-System aus ca. 40 Schichtpaaren, bei  $\lambda=11\text{nm}$  aus ca. 70 Schichtpaaren. Die Winkelakzeptanz dieser Systeme liegt damit im Bereich weniger Grad und nimmt mit zunehmendem Einfallswinkel ab. Des weiteren nehmen mit zunehmendem Einfallwinkel auch störende, durch die Vielfachstruktur verursachte Phaseneffekte, zu. Variiert der aufpunktbezogene mittlere Einfallswinkel zu stark über eine Systemfläche, so müssen Schichtpakete mit veränderlicher Dicke aufgebracht werden.

[0041] Da sich die erfundungsgemäßen Objektive durch einen geringeren mittleren Einfallswinkel und eine geringe flächenspezifische Variation um den mittleren Einfallswinkel auszeichnen, können die oben dargelegten Probleme von Multilayer-Systemen gering gehalten werden.

[0042] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden.

[0043] Es zeigen:

Figur 1: schematische Darstellung, der in vorliegender Anmeldung verwendeten Systemklassifizierung.

Figur 2: Linsenschnitt eines ersten 4-Spiegel-Systems (Typ e\_System) nach dem Stand der Technik

Figur 3: Linsenschnitt eines zweiten 4-Spiegel-Systems (Typ f\_System)

Figur 4: Linsenschnitt eines dritten 4-Spiegel-Systems (Typ g\_System)

Figur 5: ein 4-Spiegel-System vom Typ f mit eingefügtem grazing-incidence Spiegel

[0044] Bei den in Fig. 1-4 gezeigten Ausführungsbeispielen handelt es sich um zentrierte, bildseitig telezentrische Reduktionssysteme mit Blende auf dem dritten Spiegel M3. In sämtlichen Systemen werden für gleiche Bauelemente gleiche Bezugsziffern verwendet, wobei nachfolgende Nomenklatur verwendet wird:

- erster Spiegel (M1), zweiter Spiegel (M2)
- dritter Spiegel (M3), vierter Spiegel (M4)

[0045] Die verschiedenen Ausführungsformen lassen sich klassifizieren durch die Primärspiegelvergrößerung  $m/M_1$ , bzw. durch das Konvergenzverhältnis  $v(M_1) = 1/m(M_1)$  und die Sekundärspiegel-Hauptstrahlwinkelvergrößerungen  $\mu(M_2)$ . Die Normenklatur erfolgt nach Dietrich Korsch, Reflective optics, Academic Press 1991, S. 41ff, wobei der Offenbarungsgehalt dieser Schrift vollumfänglich in die Anmeldung mit aufgenommen wurde:

	M1	$v(M_1)$	$\mu(M_2)$
typ_a	konkav	$e \rightarrow \infty$	$< -e_4$

(fortgesetzt)

	M1	v(M1)	$\mu(M2)$
typ_b	plan, konkav	$\in [-1, 1]$	$\leq c_4$
typ_e	konvex	$\in ]-\infty, -1[$	$\leq c_4$
typ_f	konvex	$\in ]-\infty, -1[$	$\in ]c_4, 1 \cdot c_2[$
typ_g	konvex	$\in ]-\infty, -1[$	$\in ]1 + c_3, \infty[$

5

10 [0046] Es gilt:

$c_3 > 0$  wächst mit der numerischen Apertur NA des Systems, d. h.  
 $c_3 = 0 \iff NA = 0$

15

[0047] Eine schematische Darstellung der Systemklassifizierung wie nachfolgend verwendet, ist in Fig. 1 dargestellt.

[0048] Der Begriff Hauptstrahlwinkelvergrößerung bzw. angular magnification bezieht sich nicht auf den Winkel selbst, sondern auf dessen Tangens (siehe Korsch, Reflective optics a.a.O.) Positive Hauptstrahlwinkelvergrößerung bedeutet anschaulich, daß die Neigungen der mit den einfallenden und reflektierten Hauptstrahlen identifizierbaren Geraden bzgl. der optischen Achse gleiches Vorzeichen besitzen, bzw., daß die Eintritts- und Austrittspupillen des betreffenden Spiegels auf der physikalisch gleichen Seite des Spiegels liegen.

[0049] Wie aus Fig. 1 hervorgeht liegen die Typen a, b und e innerhalb eines topologisch zusammenhängenden Gebietes, d. h. die Systeme können innerhalb des Designparameterraumes kontinuierlich ineinander übergeführt werden.

[0050] Im Gegensatz hierzu ist dies nicht möglich für je zwei Systeme der Klassen (a, b, e), f und g, wenn Obskurationsfreiheit erfüllt sein soll. Die Balken in Fig. 1 symbolisieren 'verbote' Gebiete, in denen bei endlicher NA eine Abschattung der Lichtbündel durch Spiegel zwingend ist.

[0051] Die Zugehörigkeit zu dem jeweiligen topologischen Zusammenhangsgebiet wird durch  $\mu(M2)$  bestimmt. Die aus der US 531629 bzw. EP 0480617 bekannten Ringfeldsysteme gehören zur Kategorie Typ a. Typ b-Systeme vermitteln den kontinuierlichen Übergang zu den Typ\_e Systemen, die auch das aus Donald W. Sweeney et. al., 23rd International Symposium of Microlithography a. a. O. bekannte System umfassen.

[0052] Systeme vom Typ f und Typ g sind aus keiner der angegebenen Veröffentlichungen bekannt. Gegenüber der US 531629 bzw. EP 048 0617 unterscheiden sich die Systeme gemäß Typ f und Typ g durch den konvexen Primärspiegel. Das aus Donald W. Sweeney et. al., 23rd International Symposium of Microlithography a. a. O. bekannte System weist zwar einen konvexen Primärspiegel auf, hat jedoch eine andere Hauptstrahlwinkelvergrößerung an M2, und damit eine andere Strahlführung im System.

[0053] Systeme vom Typ f mit  $v(M1) > \text{ca. } -1.5$  führen zu großen Hauptstrahlwinkeln am Retikel und großen Systemdurchmessern. Dadurch wird eine sinnvolle Systemauslegung mit konkavem M1 ( $v(M1) > -1$ ) schwierig.

[0054] In der nachfolgenden Tabelle sind typische Funktionsdaten beispielhafter Ausführungsformen der verschiedenen Systemkategorien gegenübergestellt. Die Verzeichnungswerte ergeben sich nach Maßstabskorrektur über das Ringfeld. Beispielhafte Linsenschnitte der den einzelnen Systemklassen zugehörigen Systeme sind in den Fig. 2-5 gezeigt.

45

50

55

	Typ f (94)	Typ_g(68)
M1	konvex	konvex
$v(M1)$	-2.4	-2.9
$\mu(M2)$	0.6	1.6
NA	0.1	0.1
Red	4x	4x
Ringfeld [mm <sup>2</sup> ]	26.0x1.0	26.0x1.25
mittl. Ringfeldradius [mm]	25	51
OO' [mm]	1368	1112

(fortgesetzt)

	Typ_f (94)	Typ_g(66)	
5	FWD [mm]	92	62
10	CRAO [mm]	$\epsilon[-2.1, -2.0]$	$\epsilon[4.1, 4.2]$
15	CRA [mrad]	$\epsilon[-0.35, -0.50]$	$\epsilon[-0.2, 0.2]$
20	max. Asph. [ $\mu\text{m}$ ]	19.6	8.3
25	AOI max [deg]	14.1	22.0
30	$\Delta\text{AOI}$ max [deg]	$\pm 2.5$	$\pm 2.8$
35	WFE max [ $\lambda_{\text{rms}}$ ]	0.029	0.0025
40	Verzeichnung [nm PV]	7	30

Erklärung der in der Tabelle verwendeten Abkürzungen:

	Bedeutung
M1	Form des Primärspiegel
v(M1)	'convergence ratio' nach Korsch
$\mu(M2)$	'angular magnification' nach Korsch
NA	bildseitige numerische Apertur
Red	Verkleinerungsfaktor=-1/Abbildungsmästab
Ringfeld [ $\text{mm}^2$ ]	SekantenlängexRingbreite im Bildfeld
mittl. Ringfeldradius [mm]	Bildfeldradius in der Mitte des Ringfeldes
OO' [nm]	Objekt-Bild-Absstand
FWD [mm]	optisch freier Arbeitsabstand bildseitig
CRAO [deg]	Hauptstrahlwinkel im Objektraum
CRA [mrad]	Hauptstrahlwinkel im Bildraum
max. Asph. [ $\mu\text{m}$ ]	max. Abweichung der Asphäre vom Hüllekreis über den Nutzbereich des Spiegels
AOI max. [deg]	maximaler Einfallswinkel
$\Delta\text{AOI}$ max [deg]	Variation der Einfallswinkel über den Spiegel
WFE max [ $\lambda_{\text{rms}}$ ]	maximaler rms-Wellenfrontfehler in Einheiten von $\lambda$
Verzeichnung [nm PV]	Spitze-Spitze-Wert der über das Ringfeld maßstabskorrigierten Hauptstraherverzeichnung

[0056] Die Systeme mit konvexem M1 zeigen eine wesentlich höhere Asphärität als die Typ\_a-Ausführungen mit konkavem M1.

In Fig. 2 ist der Schnitt eines Typ\_e-Systems von der Retikalebene 2 bis zur Waferebene 4 gezeigt, wafernächster Spiegel ist der erste Spiegel M1.

[0057] Typ\_e-Systeme haben die geringste Winkelbelastung auf den Spiegeln M1, M2, M3, M4 was die polarisations-optischen Eigenschaften des Systems begünstigt. Die hohen Hauptstrahlwinkel an der Retikalebene 2 erfordern aber sehr ebene Retikel.

[0058] Umgekehrt zeigen Typ\_g-Systeme, wie beispielhaft im Schnitt der Fig. 4 gezeigt, bei vertretbaren Hauptstrahlwinkel am Retikel relativ große Winkelbelastungen auf den Spiegeln M1, M2, M3, M4.

[0059] Typ\_f-Systeme wie beispielhaft in Fig. 3 gezeigt, benötigen die stärksten Asphären, haben dafür aber günstige

Winkelerteilungen auf den Spiegeln, M1, M2, M3, M4, und dem Relikel 2. Der sehr geringen Verzeichnung steht ein relativ kleines Bildfeld gegenüber. Die Baulänge ist zwar größer als bei den anderen Systemen, die lange Driftstrecke innerhalb des Objektives erlaubt andererseits ggf. das Einsetzen von Zusatzkomponenten, z. B. Alignmentsystem, Umlenkspiegel, etc.

- 5 [0060] Die Typ\_f und Typ\_g-Systeme, wie in den Fig. 3 und 4 gezeigt, können sowohl mit positiven, als auch mit negativen Hauptstrahlwinkeln am Relikel 2 realisiert werden. Damit kann eine optimale Geometrie, insbesondere ein vergleichsweise kleiner freier Arbeitsabstand zum Relikel 2, zur Einspiegelung des Lichtes bei Verwendung einer Reflexionsmaske gewählt werden. Bei Verwendung einer Transmissionsmaske lässt sich ein telezentrischer Strahlengang realisieren.
- 10 [0061] Die Systeme vom Typ\_a und Typ\_f besitzen relativ lange 'Driftstrecken' vor bzw. innerhalb des eigentlichen Spiegelsystems.  
Es ist möglich dort grazing-incidence-Spiegel hoher Reflektivität als Korrekturelemente, z. B. in der Art eines Schmidt-Korrektors oder eines aktiv optischen Korrektursystems einzufügen. Basierend auf den derzeitigen Literaturwerten ergibt sich für molybdänbeschichtete Spiegel bei 13,3 nm und 75° Einfallswinkel eine theoretisch mögliche Reflektivität von ca. 85% für unpolarisiertes Licht. Durch den streifenden Einfall der Bündel kann der ausgeleuchtete Querschnitt in einer Richtung - im Vergleich zu denjenigen auf den benachbarten Spiegeln - sehr groß gemacht werden, was die Auslegung der Korrekturelemente erleichtert. Die einzelnen Spiegel werden vorzugsweise paarweise mit aufeinander nahezu senkrecht stehenden Flächennormalen ausgestattet, um die Bündel in allen Raumrichtungen mit der gleichen Auflösung manipulieren zu können.
- 15 [0062] In Fig. 5 ist ein solches Design vom Typ\_f mit eingefügtem grazingincidence-Spiegel GIM dargestellt.  
[0063] Aus nachfolgender Tabelle 1 gehen die Parameter des Systems gemäß Fig. 3 im Code V-Format hervor:

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 1:

Typ\_f(94) 4x/0.10 1.0mm Ringfeld

ELEMENT	RADIUS	DICKE	DURCHMESSER	ART
NUMMER				
OBJEKT	INF	0.000		
			204.000	
		100.226		
			217.084	
		380.421		
M1	A(1)	-380.421	284.271	REFL.
M2	A(2)	380.421	583.054	REFL.
			390.422	
		798.185		
		APERTUR-BLENDE	23.764	
M3	A(3)	-117.968	23.764	REFL.
M4	A(4)	117.968	92.608	REFL.
			71.790	
		284.465		
			89.622	
BILD	BLITWEITE=	-192.945		
	INF		50.989	

5 Asphärische Konstanten:

$$Z = \frac{(CURV) Y^2}{1 + (1 - (1 + K) (CURV)^2) Y^2} + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10}$$

10

	Asphäre	CURV	K	A	B	C	D
15	A(1)	0.0014137	-4.643893	0.00000E+00	-6.97365E-15	7.87388E-20	0.00000E+00
	A(2)	0.0011339	-0.232793	0.00000E+00	-5.35926E-17	3.35875E-23	0.00000E+00
	A(3)	0.0040246	3.006678	0.00000E+00	3.76117E-19	-1.43488E-15	0.00000E+00
20	A(4)	0.0042182	0.289323	0.00000E+00	8.76473E-15	-6.89142E-19	0.00000E+00

Referenz Wellenlänge ≈ 13 nm

25

[0064] Die Konstruktionsdaten des in Fig. 4 dargestellten Typ g-Systems gehen aus nachfolgender Tabelle 2 hervor:

30

35

40

45

50

55

Tabelle 2:

ELEMENT NUMMER	RADIUS	DICKE	DURCHMESSER	ART
OBJEKT	INF	0.000		
			413.000	
		378.925		
			373.642	
		474.629		
M1	A(1)	474.629	327.612	REFL
M2	A(2)	474.629	600.624	REFL
			206.075	
		196.627		
		APERTUR-BLENDE	28.266	
M3	A(3)	-136.037	28.266	REFL
M4	A(4)	136.037	141.436	REFL
			115.807	
		-196.627		
			155.535	
		160.000		
			123.208	
		BILDWEITE =	96.781	
BILD	INF		103.302	

ASPHÄRISCHE KONSTANTEN	CURV	K	A	B	C	D
A(1)	0.0010894	-0.738027	0.00000E+00	3.65218E-16	-1.37411E-20	0.00000E+00
A(2)	0.0012023	0.031851	0.00000E+00	1.38321E-17	-6.58953E-23	0.00000E+00
A(3)	0.0036931	1.579939	0.00000E+00	-1.26703E-13	3.53973E-16	0.00000E+00
A(4)	0.0036917	0.316575	0.00000E+00	3.15592E-15	1.74158E-19	0.00000E+00
REFERENZ- WELLEN- LÄNGE	13.0 nm					

[0065] Bringt man zwischen Spiegel M1, M2 und M3, M4 einen Umlenkspiegel, einen sog. grazing incidence Spiegel GIM ein, so erhält man den in Fig. 5 dargestellten Aufbau vom Typ f. Die Daten dieser Ausführungsform sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3:

Typ\_f(xx) 4x/0.10 1.0mm Ringfield

ELEMENT NUMMER	RADIUS	DICKE	DURCHMESSER	ART
OBJEKT	INF	0.000		
			204.000	
		100.000		
			217.085	
M1	A(1)	-380.407	264.287	REFL
M2	A(2)	380.407	563.152	REFL
			390.481	
		296.123		
	DECENTER (1)			
GIM	INF	-499.895	536.341	REFL
		APERTUR-BLENDE	23.757	
M3	A(3)	117.968	23.757	REFL
M4	A(4)	-117.968	92.614	REFL
			69.580	
		-284.465		
	BILDWEITE =		192.994	
BILD	INF		51.000	

40

45

50

55

	ASPHÄRISCHE KONSTANTE	CURV	K	A	B	C	D
5	N						
	A(1)	0.0014140	-4.643296	0.00000E+00	-6.99186E-15	7.89877E-20	0.00000E+00
	A(2)	0.0011341	-0.232835	0.00000E+00	-5.33514E-17	3.24688E-23	0.00000E+00
10	A(3)	-0.0040253	3.007585	0.00000E+00	-3.82589E-13	1.48212E-15	0.00000E+00
	A(4)	-0.0042169	0.289286	0.00000E+00	8.76770E-15	5.47269E-19	0.00000E+00
15	DECENTER KONSTANTEN						
	DECENTER		Umlenkwinkel ALPHA				
			AM GIM				
	D(1)			75.00000 Grad			
20	Wellenlänge 13 nm						

[0066] Mit der Erfindung wird somit erstmals ein 4-Spiegel-Projektionsobjektiv mit einem Abbildungsmaßstab von vorzugsweise 4x für den bevorzugten Einsatz in einem EUV-Ringfeldprojektionssystem angegeben, das sowohl die notwendige Auflösung bei gefordertem Bildfeld wie auch Konstruktionsbedingungen aufweist, welche eine funktionsgerechte Bauausführung ermöglichen, da die Asphären hinreichend mild, die Winkel hinreichend klein für die Schichten und die Bauräume für die Spiegelträger hinreichend groß sind.

### 30 Patentansprüche

1. Reduktionsobjektiv insbesondere der EUV-Mikrolithographie, mit
  - vier Multilayer-Spiegeln (M1, M2, M3, M4) in zentrierter Anordnung bezüglich einer optischen Achse, mit Primär-, Sekundär-, Tertiär-, Quartärspiegel in dieser Reihenfolge im Strahlengang
  - Ringfeld geeignet für Scanning-Betrieb,
  - obskurationsfreier Lichtführung,  
gekennzeichnet durch
  - einen konvexen Primärspiegel (M1),
  - positive Hauptstrahlwinkelvergrößerung des Sekundärspiegels (M2).
2. Reduktionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende (B) auf oder nahe einem Spiegel liegt, insbesondere dem Tertiärspiegel (M3).
3. Reduktionsobjektiv nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich ein oder zwei Spiegel (GIM) in streifendem Einfall angeordnet sind.
4. Reduktionsobjektiv nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die zusätzlichen Spiegel (GIM) von einer Planfläche abgeleitete asphärische Flächen aufweisen
5. Reduktionsobjektiv nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Spiegel (GIM) ein aktiver Spiegel ist.
6. Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, daß der Sekundärspiegel (M2) und der Quartärspiegel (M4) konkav sind.
7. Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, daß die Multilayer-Spiegel (M1, M2, M3, M4) in der Reihenfolge konvex-konkav-konvex-konkav ausgebildet sind.

8. Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-7, dadurch gekennzeichnet, daß es objektseitig telezentrisch ist.
9. Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-7, dadurch gekennzeichnet, daß der Hauptstrahl (CR) am Objekt (2) von der optischen Achse (HA) weg läuft.
10. Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-9, dadurch gekennzeichnet, daß es bildseitig telezentrisch ist.
11. Projektionsbelichtungsanlage mit einem Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Reflexionsmaske vorgesehen ist.
12. Projektionsbelichtungsanlage mit einem Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Transmissionsmaske vorgesehen ist.
13. Verfahren für Chipherstellung mit einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem der Ansprüche 11-12.

20

25

30

35

40

45

50

55

TIG, Ar

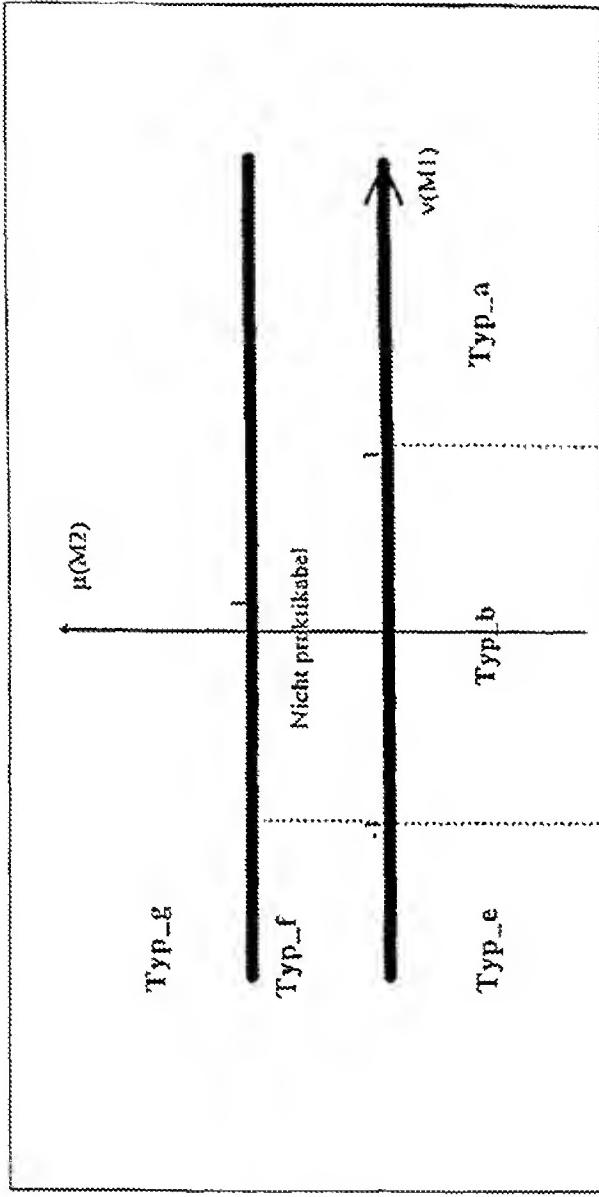
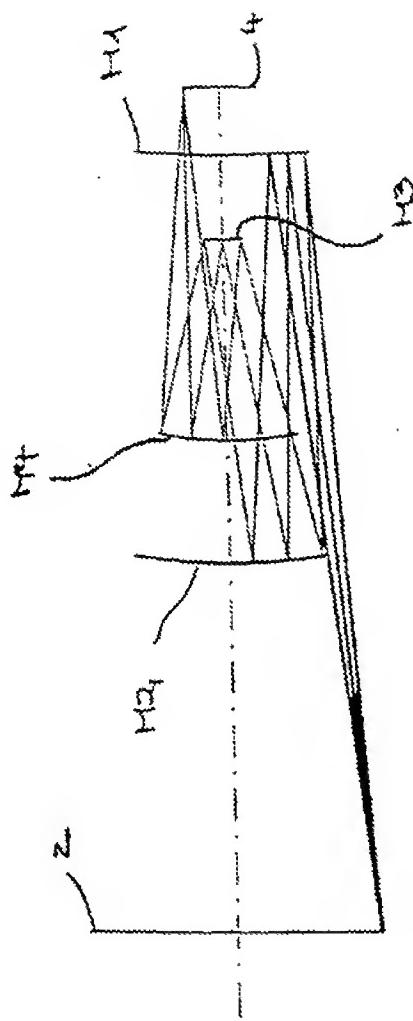


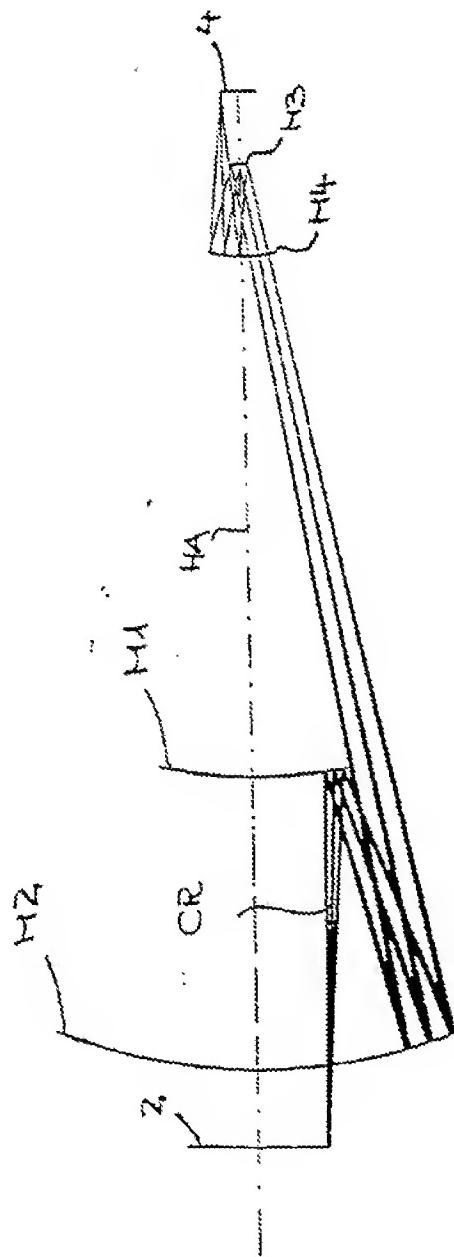
FIG.2



STAND der TECHNIK

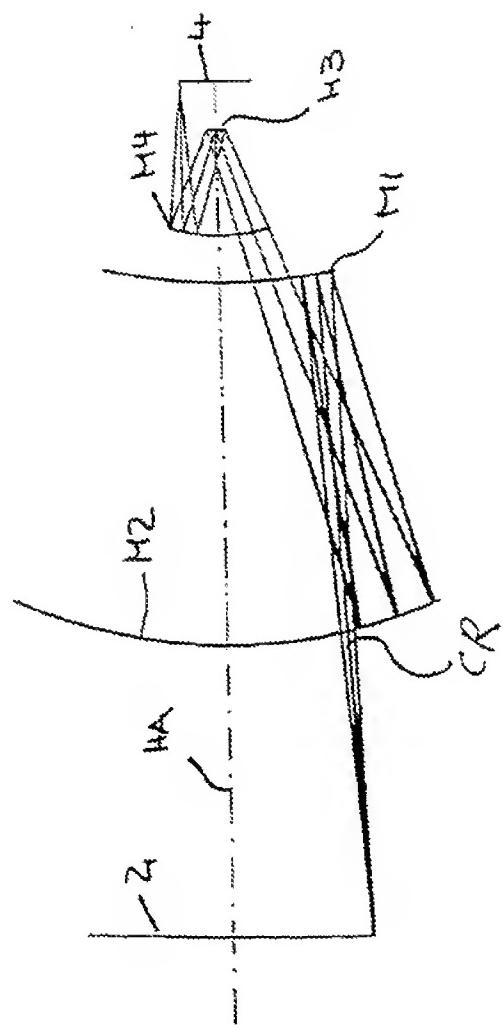
typ_e(92) 4x/0.1 1.5mm Ringfield	scale: 0.12 cm	11-Mar-98	200.00 MM
----------------------------------	----------------	-----------	-----------

Fig. 3



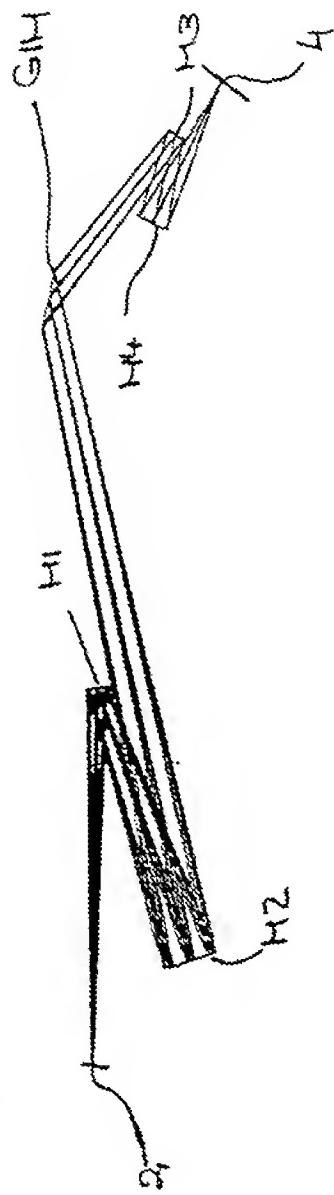
Type f (94) 4x/0.10	1.0mm RingField	Scale: 0.12	ORA 16-Apr-98
200.00 mm			

FIG. 4



Typ-g (68) 4x/0.10 1.25mm Ringfield  
scale: 0.12 ORA 16-Apr-98  
200.00 mm

FIG. 5



Type_F(92)	4x/0.10	1.5mm ringfield	Scale:	0.12	ORA	16-Apr-98	200.00 mm
------------	---------	-----------------	--------	------	-----	-----------	-----------



Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 11 0265

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.C.I.B)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.C.I.B)
A,D	<p>SWEENEY D W ET AL: "EUV optical design for a 100 nm CD imaging system"            EMERGING LITHOGRAPHIC TECHNOLOGIES II, SANTA CLARA, CA, USA, 23-25 FEB. 1998.            Bd. 3331, Seiten 2-10, XP002112300            Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1998, SPIE-Int. Soc. Opt. Eng, USA            ISSN: 0277-786X            * Kapitel 2 *            * Abbildung 2 *</p> <p>---</p>	1,11-13	G03F7/20 G02B17/06
A,D	<p>US 5 063 586 A (RODGERS J MICHAEL ET AL) 5. November 1991 (1991-11-05)            * Spalte 5, Zeile 47 - Spalte 6, Zeile 10            *            * Abbildungen 2,3 *</p> <p>---</p>	1,11-13	
A	<p>JEWELL T E ET AL: "REFLECTIVE SYSTEMS DESIGN STUDY FOR SOFT X-RAY PROJECTION LITHOGRAPHY"            JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART B,            Bd. 8, Nr. 6, 1. November 1990 (1990-11-01), Seiten 1519-1523, XP000169155            ISSN: 0734-211X            * Kapitel VI *            * Abbildung 3 *</p> <p>---</p>	1,11-13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.C.I.B) G03F G02B
D,A	<p>EP 0 422 853 A (AMERICAN TELEPHONE &amp; TELEGRAPH) 17. April 1991 (1991-04-17)</p> <p>---</p> <p>-/-</p>		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Rechenschein	Ansetzungsdatum der Recherche	Prüfer	
BERLIN	16. August 1999	Luck, W	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet			
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie			
A : technologischer Hintergrund			
O : nichttechnische Offenkundigkeit			
P : Zwischenurkunde			



Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 11 0265

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl 6)
D,A	JEWELL T E: "Optical system design issues in development of projection camera for EUV lithography" ELECTRON-BEAM, X-RAY, EUV, AND ION-BEAM SUBMICROMETER LITHOGRAPHIES FOR MANUFACTURING V, SANTA CLARA, CA, USA, 20-21 FEB. 1995, Bd. 2437, Seiten 340-346, XP002112301 Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1995, USA ISSN: 0277-786X ---		
D,A	US 5 153 898 A (KAWAI YASUO ET AL) 6. Oktober 1992 (1992-10-06) ---		
D,A	US 5 315 629 A (JEWELL TANYA E ET AL) 24. Mai 1994 (1994-05-24) ---		
D,A	EP 0 480 617 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 15. April 1992 (1992-04-15) ---		RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl 6)
D,A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 002, 29. Februar 1996 (1996-02-29) & JP 07 283116 A (NIKON CORP), 27. Oktober 1995 (1995-10-27) * Zusammenfassung * *****		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patendansprüche erstellt			
Rechercheort	Abschlußdaten der Recherche	Prüfer	
BERLIN	16. August 1999	Luck, W	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet			
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie			
A : technologischer Hintergrund			
O : nichtchriftliche Offenbarung			
P : Zwischenleiterur			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 11 0265

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obangenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Orientierung und erfolgen ohne Gewähr.

16-08-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5063586 A	05-11-1991	DE 69030231 D DE 69030231 T EP 0422853 A JP 1850191 C JP 3139822 A JP 5068089 B	24-04-1997 18-09-1997 17-04-1991 21-06-1994 14-06-1991 28-09-1993
EP 0422853 A	17-04-1991	US 5063586 A DE 69030231 D DE 69030231 T JP 1850191 C JP 3139822 A JP 5068089 B	05-11-1991 24-04-1997 18-09-1997 21-06-1994 14-06-1991 28-09-1991
US 5153898 A	06-10-1992	JP 2556328 B JP 63312638 A JP 2628164 B JP 63312639 A JP 2673517 B JP 63312640 A JP 2628165 B JP 63312641 A JP 2711537 B JP 63311515 A JP 63311315 A JP 2603225 B JP 63018626 A EP 0252734 A	20-11-1996 21-12-1988 09-07-1997 21-12-1988 05-11-1997 21-12-1988 09-07-1997 21-12-1988 10-02-1998 20-12-1988 20-12-1988 23-04-1997 26-01-1988 13-01-1988
US 5315629 A	24-05-1994	EP 0523303 A JP 5036588 A CA 2052733 A,C CA 2052734 A,C DE 69122018 D DE 69122018 T EP 0480617 A HK 215996 A JP 4262524 A	20-01-1993 12-02-1993 11-04-1992 11-04-1992 17-10-1996 06-02-1997 15-04-1992 27-12-1996 17-09-1992
EP 0480617 A	15-04-1992	CA 2052733 A,C CA 2052734 A,C DE 69122018 D DE 69122018 T HK 215996 A JP 4262524 A US 5315629 A	11-04-1992 11-04-1992 17-10-1996 06-02-1997 27-12-1996 17-09-1992 24-05-1994

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr. 12/82

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 11 0265

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am. Diese Angaben dienen nur zur Orientierung und erfolgen ohne Gewähr.

16-08-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 07283116 A	27-10-1995	KEINE	

EPO FORM P0951

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82